

特開平7-260808

(43) 公開日 平成7年(1995)10月13日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

G01N 37/00

F

G01B 11/30

Z

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全5頁)

(21) 出願番号 特願平6-54093

(22) 出願日 平成6年(1994)3月24日

(71) 出願人 000002325

セイコー電子工業株式会社

千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地

(72) 発明者 千葉 徳男

東京都江東区亀戸6丁目31番1号 セイコ  
ー電子工業株式会社内

(72) 発明者 村松 宏

東京都江東区亀戸6丁目31番1号 セイコ  
ー電子工業株式会社内

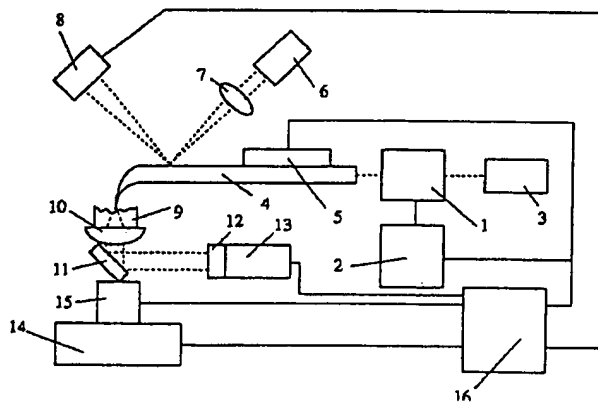
(74) 代理人 弁理士 林 敬之助 (外1名)

(54) 【発明の名称】 走査型近視野原子間力顕微鏡

(57) 【要約】

【目的】 試料の光透過性や導電性の有無にかかわらず、試料の表面形状および光特性の測定を高解像度で行うことができる装置において、試料特性測定光の照射位相を変化させ、光特性像の分解能を向上させる。

【構成】 光特性測定用光源3の射出光は光変調手段1により振幅変調され、バイモルフ5に設置された光伝搬体プローブ4に導入される。光変調手段1の位相や間欠比は、移相器2によって調整される。試料特性測定光はプローブ4の先端から試料9の表面に照射され、試料9を透過または散乱した光や試料9から発生した蛍光などは、レンズ10で平行光にされ、ミラー11、フィルター12を介して光電変換素子13に導入される。ミラー11、レンズ10および試料9は、縦横深さ方向の移動が可能な粗動機構14および微動機構15の上に設置されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光伝搬体からなるプローブと、前記プローブの先端と試料の間を相対的に垂直方向に振動させる振動手段と、前記試料に光を照射する光源と、前記光を前記プローブの振動と同期して振幅変調する光変調手段と、前記光変調手段での位相または間欠率を変化させる移相器と、前記プローブの変位を光学的に検出する変位検出手段と、前記試料からの光を検出するための光電変換素子および光学系と、前記試料と前記プローブを相対移動させる粗動機構および微動機構と、装置全体を制御する制御装置を有し、試料表面の形状および光学特性を観察する構成であることを特徴とする走査型近視野原子間力顕微鏡。

【請求項2】 光伝搬体からなるプローブと、前記プローブの先端と試料の間を相対的に水平方向に振動させる振動手段と、前記試料に光を照射する光源と、前記光を前記プローブの振動と同期して振幅変調する光変調手段と、前記光変調手段での位相または間欠率を変化させる移相器と、前記プローブの変位を光学的に検出する変位検出手段と、前記試料からの光を検出するための光電変換素子および光学系と、前記試料と前記プローブを相対移動させる粗動機構および微動機構と、装置全体を制御する制御装置を有し、試料表面の形状および光学特性を観察する構成であることを特徴とする走査型近視野原子間力顕微鏡。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、物質間に働く原子間力を利用して計測物質の形状を観察するとともに、光伝搬体からなるプローブによって、同時に計測物質の微細領域での光学特性を観察する走査型近視野原子間力顕微鏡に関する。

## 【0002】

【従来の技術】原子間力顕微鏡（AFM）は、走査型トンネル顕微鏡（STM）に対して、試料の導電性の有無にかかわらず試料表面の微細な形状を観察することができることから広く普及している。このAFMは、試料と測定プローブの間に働く原子間力によって、測定プローブを支持しているバネ要素がたわむことを利用した測定法である。

【0003】一方、先端が尖鋭化された光媒体からなるプローブを光の波長以下まで測定試料に近づけることによって、試料の光学特性や形状を測定しようという試みがあり、いくつかの近接場光顕微鏡が提案されている。この一つの装置として、試料の裏面からレーザー光を試料裏面で全反射するように照射して、試料表面にもれだすエバネッセント光を微動機構を有する光ファイバプローブの先端を近接させることによって検出して、一定のエバネッセント光を検出するようにプローブを走査するかあるいはプローブを水平に走査してエバネッセント

光の強度変化を測定することによって、表面形状を観察する装置が提案されている。

【0004】また、試料に対して垂直に保持した光ファイバプローブの先端を試料表面に対して水平に振動させ、試料表面とプローブ先端の摩擦によって生じる振動の振幅の変化を光ファイバ先端から照射され試料を透過したレーザー光の光軸のズレとして検出し、試料を微動機構で動かすことによって、プローブ先端と試料表面の間隔を一定に保ち、微動機構に入力した信号強度から表面形状を検出するとともに試料の光透過性の測定を行う装置が提案されている。

【0005】さらに、先端部を鉤状にしたガラスキャピラリの最先端部に蛍光物質を詰めるとともに、鉤状部の先端からみて裏面にプローブのたわみを光学的に検出するために用いる反射板を設置し、試料裏面から照射され試料を透過した光によって、試料に近接したプローブ先端の蛍光物質から発生し、さらに、試料を透過した光を試料裏面で検出することによって、試料のAFM測定と光透過性を同時に測定する装置が提案されている。

【0006】この他、導電性を持つ光媒体からなるプローブをSTMのプローブとして用い、同時に試料の光学的特性を測定する装置も提案されている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来のAFMおよびSTMは、表面形状の観察には適しているが、試料の物理的および化学的性質を測定することはできない。この試料の性質を観察する手段として光を用いる方法が考えられる。

【0008】この光を用いる近接場光顕微鏡のうちエバネッセント光を用いる装置の場合、光強度を試料の高さ方向の情報として用いるため、試料の高さ方向の光強度変化と試料の光吸収による光強度変化を分離することができないという欠点があり、試料の物理的および化学的な性質を測定する手段として利用することは難しい。また、試料表面の凹凸が激しい場合には、光は、試料裏面で全反射せずに透過する場合があります、これらの透過光が、試料表面上で干渉を起こし、測定に支障をきたす場合がある。

【0009】試料の形状像と光特性像を分離して同時測定する装置としては、非接触型原子間力顕微鏡、あるいは、ずり力型原子間力顕微鏡においてプローブを光ファイバなどの光伝搬体としたものが提案されている。これらの装置においては、光を試料に定常的に照射した場合、検出される光強度が小さいと検出不可能となる問題がある。また、試料が蛍光物質の場合、定常的な光照射により試料が損傷を受ける可能性がある。さらに、試料に対してプローブを垂直方向に振動させる非接触型原子間力顕微鏡では、振動周期の位相中でプローブ先端が試料面から離れている時に照射された光は、そのスポットが広がって試料面に到達するため光強度および分解能を

低下させる。試料に対してプローブを水平方向に振動させるずり力型原子間力顕微鏡では、振動周期の位相中でプローブが振動中心からずれている時に照射された光は測定点からずれているため分解能を低下させる。試料が蛍光物質の場合、蛍光体に金属が接触すると蛍光エネルギーが金属に吸収され蛍光を発しない場合があり、先端部分に金属被覆を有する光伝搬体プローブを用いた場合、プローブ先端が試料面から離れている位相中に光照射することが必要となる場合も考えられる。

【0010】そこで、本発明の目的は、試料の光透過性や導電性の有無にかかわらず、試料の表面形状および光特性の測定を高解像度で行うことができる装置において、光特性像の分解能を向上させることにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を解決するため、走査型近視野原子間力顕微鏡を、光伝搬体からなるプローブと、プローブ先端と試料の間を相対的に垂直方向に振動させる振動手段と、試料に光を照射する光源と、光をプローブの振動と同期して振幅変調する光変調手段と、光変調手段の位相または間欠率を変化させる移相器と、プローブの変位を光学的に検出する変位検出手段と、試料からの光を検出するための光電変換素子および光学系と、試料とプローブを相対移動させる粗動機構および微動機構と、装置全体を制御する制御装置とで構成した。

【0012】また、走査型近視野原子間力顕微鏡を、光伝搬体からなるプローブと、プローブ先端と試料の間を相対的に水平方向に振動させる振動手段と、試料に光を照射する光源と、光をプローブの振動と同期して振幅変調する光変調手段と、光変調手段の位相または間欠率を変化させる移相器と、プローブの変位を光学的に検出する変位検出手段と、試料からの光を検出するための光電変換素子および光学系と、試料とプローブを相対移動させる粗動機構および微動機構と、装置全体を制御する制御装置とで構成した。

【0013】

【作用】上記のような走査型近視野原子間力顕微鏡の構成では、光変調器の作用により試料への照射光が変調されるため、測定光を位相検波でき、従って微弱信号を検出できる。また、間欠的に試料に光を照射するため、蛍光試料が光により損傷を受けるのを防止する作用がある。

【0014】また、移相器によりプローブの振動に対する試料照射光の位相や間欠比を任意に変化させることができる。従って、試料に対してプローブ先端を垂直方向に振動させる装置において、プローブが試料に最も近接する位相で光を照射させることにより、光照射範囲を小さくし、光密度を増加させることができる。また、プローブが試料に最も近接する位相において、光を照射する位相範囲を小さくすることにより、さらに光照射範囲を

小さくし、光密度を増加させることができる。また、蛍光試料を測定する場合には、光を照射する位相範囲を小さくすることにより、蛍光試料が光により損傷を受けるのを防止することができる。また、金属被覆を有するプローブを用いて蛍光試料を測定する場合、プローブ先端が試料面から離れている位相で光を照射することにより、蛍光エネルギーが金属被覆に吸収されるのを防止し、検出される蛍光強度を大きくすることができる。また、試料に対してプローブ先端を水平方向に振動させる装置において、振動周期の位相中で、振動中心において光を照射することにより、測定点と光照射点を一致させることが可能となる。

【0015】

【実施例】以下に本発明の実施例について図面を参照して説明する。図1は、本発明の実施例による走査型近視野原子間力顕微鏡の構成を示した図であり、試料に対してプローブ先端を垂直に振動させる構成を示したものである。光特性測定用光源3の射出光は光変調手段1により振幅変調され、バイモルフ5に設置された光伝搬体プローブ4に導入される。光変調手段1での位相や間欠比は、移相器2によって調整される。プローブ4の上方にレーザー光源6、集光レンズ7、光電変換素子8が設置されており、レーザー光源6のレーザー光は、集光レンズ7によってプローブ4の背面に集光され、反射光が光電変換素子8に導入されている。

【0016】試料特性測定光はプローブ4の先端から試料9の表面に照射され、試料9を透過または散乱した光や試料9から発生した蛍光などは、レンズ10で平行光にされ、ミラー11、フィルター12を介して光電変換素子13に導入される。ミラー11、レンズ10および試料9は、縦横深さ方向の移動が可能な粗動機構14および微動機構15の上に設置されている。光電変換素子8で検出された信号は制御装置16へ送られ、この信号をもとに、試料9へのプローブ4のアプローチや表面観察の際に、粗動機構14および微動機構15を制御し、プローブ4のたわみが規定値を越えないように信号を出力する。位相検波手段は制御装置16に含まれるものとする。

【0017】光変調手段1としては、AOモジュレータ（音響光学変調器）、EOモジュレータ（電気光学変調器）、機械式シャッター、液晶シャッターなど外部信号により光を変調する手段が用いられる。光特性測定用光源3としては、ガスレーザー、固体レーザーおよび半導体レーザーなどのレーザー光源のほか、発光ダイオード、放電管、白色光源なども用いられる。光特性測定用光源3として半導体レーザーのような時間応答性の良い光源を用いた場合には、光変調手段1を廃して直接光特性測定用光源に変調を加えることも可能である。

【0018】上記のような走査型近視野原子間力顕微鏡の構成によれば、プローブの振動に対して試料照射光の

位相や間欠比を任意に変化させることができる。図3はプローブの振動に対する試料照射光の位相の第1例を示した図であり、(a)はプローブと試料間距離の時間変化、(b)は(a)の時間に対応した試料照射光のON、OFFを表している。図3に示したように、プローブが試料に最も近接する位相で光を照射させることにより、光照射範囲を小さくし、光強度を増加させることができる。また、試料からの光特性光を位相検波でき、従って微弱信号を検出できる。また、間欠的に試料に光を照射するため、蛍光試料が光により損傷を受けるのを防止できる。従って、光信号の分解能およびS/N比を向上させることが可能である。

【0019】図4はプローブの振動に対する試料照射光の位相の第2例を示した図であり、(a)はプローブと試料間距離の時間変化、(b)は(a)の時間に対応した試料照射光のON、OFFを表している。図3に示した実施例と比較して、光特性測定光の照射位相を小さくした例である。蛍光試料は光照射により損傷を受けて蛍光を発しなくなる場合があるが、図4に示したように照射時間を短くすることにより、蛍光試料の損傷をさらに防止することができる。また、プローブが試料に最も近接する位相において、光を照射する位相範囲を小さくすることにより、さらに光照射範囲を小さくし、光密度を増加させることができ、分解能を向上させることが可能となる。

【0020】図5はプローブの振動に対する試料照射光の位相の第3例を示した図であり、(a)はプローブと試料間距離の時間変化、(b)は(a)の時間に対応した試料照射光のON、OFFを表している。通常、光伝搬体プローブは先端の透過孔部以外に金属被覆を有するが、蛍光体に金属が接触すると蛍光エネルギーが金属に吸収され蛍光を発しない場合がある。蛍光試料を測定する場合、図5に示したようにプローブ先端が試料面から離れている位相で光を照射することにより、蛍光エネルギーが金属被覆に吸収されるのを防止し、検出される蛍光強度を大きくすることができる。

【0021】図2は、本発明の実施例によるずり力型近視野原子間力顕微鏡の構成を示した図であり、プローブ周辺の構成を示した図である。光特性測定用光源3の射出光は光変調手段1により振幅変調され、バイモルフ5設置された光伝搬体プローブ20に導入される。光変調手段1の位相や間欠比は、移相器2によって調整される。図1に示した実施例とは、光伝搬体プローブ20をバイモルフ5によって、試料9に対して水平に振動させるところが異なる。

【0022】上記のようなずり力型近視野原子間力顕微鏡の構成によれば、プローブの振動に対して試料照射光の位相や間欠比を任意に変化させることができる。図6はプローブの振動に対する試料照射光の位相の第4例を示した図であり、(a)はプローブ先端位置の振動中心

点からの時間変化、(b)は(a)の時間に対応した試料照射光のON、OFFを表している。図6に示したように、試料照射光の周期を2倍とし、振動中心において光を照射することにより、測定点と光照射点を一致させることが可能となる。従って、振動周期の位相中でプローブが振動中心からずれている時に照射された光が測定点からずれているため分解能を低下させる問題を解決し、分解能を向上させることが可能となる。

【0023】以上説明した実施例では光特性像の測定に関して説明したが、試料の微小領域の光特性のスペクトル測定に関しても、試料からの光特性光を分光器に導入することで実施可能である。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の走査型近視野原子間力顕微鏡によれば、試料の光透過性や導電性の有無にかかわらず、高解像度で試料の表面形状および光特性の測定を行う装置において、光特性像の分解能を向上させることが可能となった。

【0025】さらに、蛍光試料の測定において、試料に損傷を与えず、またプローブの金属膜被覆による蛍光エネルギーの吸収を防止し、蛍光の検出光度を増加させることができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例による走査型近視野原子間力顕微鏡の構成を示した図である。

【図2】本発明の実施例によるずり力型近視野原子間力顕微鏡の構成を示した図である。

【図3】プローブの振動に対する試料照射光の位相の第1例を示した図である。

【図4】プローブの振動に対する試料照射光の位相の第2例を示した図である。

【図5】プローブの振動に対する試料照射光の位相の第3例を示した図である。

【図6】プローブの振動に対する試料照射光の位相の第4例を示した図である。

【符号の説明】

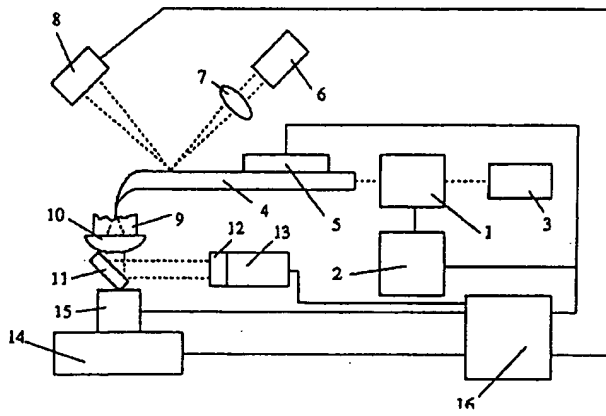
- 1 光変調手段
- 2 移相器
- 3 光特性測定用光源
- 4 光伝搬体プローブ
- 5 バイモルフ
- 6 レーザー光源
- 7 集光レンズ
- 8 光電変換素子
- 9 試料
- 10 レンズ
- 11 ミラー
- 12 フィルター
- 13 光電変換素子
- 14 粗動機構

15 微動機構

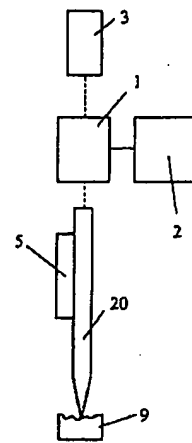
16 制御装置

20 光伝搬体プローブ

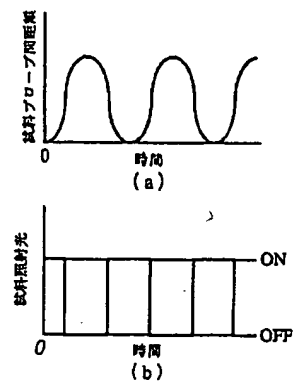
【図 1】



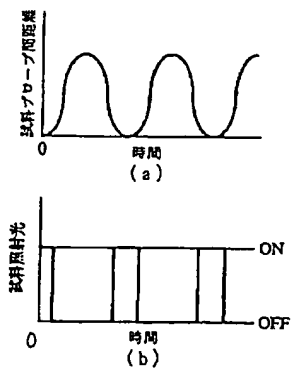
【図 2】



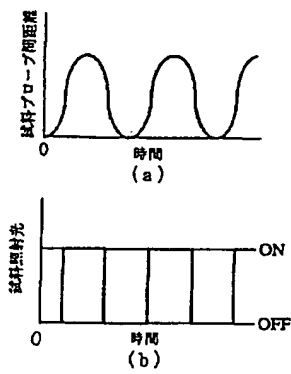
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

